

# Analyse d'une activité d'apprentissage en physique à l'aide du modèle de l'équilibration

Marie-Françoise Legendre

Volume 21, numéro 3, 1995

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/031807ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/031807ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (imprimé)

1705-0065 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Legendre, M.-F. (1995). Analyse d'une activité d'apprentissage en physique à l'aide du modèle de l'équilibration. *Revue des sciences de l'éducation*, 21(3), 473–502. <https://doi.org/10.7202/031807ar>

Résumé de l'article

Cet article présente une application du modèle de l'équilibration de Piaget à l'analyse d'un processus de développement conceptuel relié à une activité d'apprentissage en physique. L'activité proposée est basée sur l'exploration d'un micromonde de mouvement. Elle a pour but d'amener le sujet à élaborer des représentations qualitatives (schemes) de certains phénomènes physiques à partir de ses représentations initiales et de leurs modifications progressives au contact de situations variées. L'application du modèle de l'équilibration à l'analyse de ce changement conceptuel met en évidence certains mécanismes généraux qui interviennent dans le passage d'un niveau de représentation à un autre. Elle permet d'illustrer concrètement la forme que prend, dans le contexte d'une activité d'apprentissage spécifique, l'alternance des processus interactifs et constructifs en jeu dans l'équilibration.

# Analyse d'une activité d'apprentissage en physique à l'aide du modèle de l'équilibration

Marie-Françoise Legendre  
Professeure

Université de Montréal

**Résumé** – Cet article présente une application du modèle de l'équilibration de Piaget à l'analyse d'un processus de développement conceptuel relié à une activité d'apprentissage en physique. L'activité proposée est basée sur l'exploration d'un micromonde de mouvement. Elle a pour but d'amener le sujet à élaborer des représentations qualitatives (schèmes) de certains phénomènes physiques à partir de ses représentations initiales et de leurs modifications progressives au contact de situations variées. L'application du modèle de l'équilibration à l'analyse de ce changement conceptuel met en évidence certains mécanismes généraux qui interviennent dans le passage d'un niveau de représentation à un autre. Elle permet d'illustrer concrètement la forme que prend, dans le contexte d'une activité d'apprentissage spécifique, l'alternance des processus interactifs et constructifs en jeu dans l'équilibration.

## *Introduction*

S'inspirant de l'épistémologie constructiviste de Bachelard (1960) et de Piaget (1967*b*) ainsi que de l'apport de la psychologie cognitive, de nombreux travaux en didactique des sciences et des mathématiques se sont intéressés aux représentations spontanément construites par les élèves et à leur impact sur les processus d'apprentissage en contexte scolaire (Abraham et Renner, 1986; Bednarz et Garnier, 1989; diSessa, 1988; Driver et Bell, 1986; Driver et Oldham, 1986; Duit, 1992; Giordan, Henriques et Bang, 1989; Lawson, 1985; Renner, Abraham et Birnie, 1986, 1988; Vergnaud, 1989). Ces travaux ont conduit à envisager l'apprentissage sous l'angle d'un processus de changement conceptuel (Hewson, 1981; Pines et West, 1985; Weil-Barais, 1994) nécessitant des transformations plus ou moins importantes dans l'organisation cognitive. Un certain nombre de ces recherches se sont inspirées de la théorie de l'équilibration de Piaget (1975) et du rôle que peut jouer, dans le processus de développement conceptuel, la prise de conscience d'un conflit ou d'une contradiction entre ce qui est connu et la connaissance visée par l'enseignement (Hewson et

Beckett Hewson, 1984; Nussbaum et Novick, 1982). Toutefois, peu de travaux ont porté sur une opérationnalisation de quelques notions clés reliées au modèle de l'équilibration (Inhelder, Sinclair et Bovet, 1979; Noeltling, 1982).

Dans cet article, nous présentons une utilisation du modèle de l'équilibration comme cadre de référence pour analyser les processus de développement conceptuel intervenant dans la compréhension progressive, par des élèves de l'ordre secondaire, de certains concepts reliés aux lois du mouvement. Nous exposons d'abord le cadre théorique (modèle de l'équilibration) qui a guidé notre analyse. Nous décrivons ensuite l'environnement d'apprentissage (micromonde) conçu pour servir de support au changement conceptuel et l'analyse de tâche que nous en avons faite. Puis nous donnons un aperçu de l'étude expérimentale réalisée à l'aide de cet outil. Enfin, nous présentons les résultats de l'analyse qualitative des données relatives à la démarche d'apprentissage des sujets et nous proposons une interprétation des processus d'équilibration en jeu dans le changement conceptuel.

### *Le modèle de l'équilibration*

La théorie de l'équilibration de Piaget (1974, 1975, 1983) constitue un modèle général de construction de connaissances nouvelles tant au niveau de la psychogénèse qu'à celui de l'histoire des sciences. Centré sur les aspects fonctionnels et dynamiques de la connaissance et sur les mécanismes interactifs et constructifs qui en assurent l'évolution, ce modèle définit le processus de formation progressive des connaissances, aussi bien physiques que logicomathématiques, sous l'angle d'une succession d'équilibres, de déséquilibres et de rééquilibrations (Piaget, 1975). Deux idées centrales s'en dégagent. La première est que l'élaboration de connaissances nouvelles ne peut se faire qu'à partir des schèmes antérieurement construits qui constituent le cadre assimilateur permettant de donner un sens aux informations. Ces schèmes étant nécessairement limités dans leur pouvoir d'assimilation et d'accommodation, leur utilisation peut engendrer des déséquilibres dans les représentations initiales du sujet. La seconde est que l'élaboration de connaissances nouvelles suppose une réorganisation plus ou moins profonde des acquis antérieurs. En effet, les déséquilibres donnent lieu à des conduites régulatrices, ou ajustements de l'action, qui engendrent des compensations, solidaires de constructions nouvelles. Ces constructions, sources de rééquilibrations, consistent essentiellement à modifier les connaissances antérieures de manière à rendre assimilable ce qui ne l'était pas, en conciliant les éléments d'information nouveaux avec les schèmes déjà acquis. Les déséquilibres apparaissent ainsi comme l'un des principaux moteurs de l'évolution des connaissances. Ils ne peuvent en effet être surmontés par un simple ajout d'informations. Ils nécessitent un processus de réorganisation conceptuelle qui seul permet de rendre assimilable ce qui était initialement perturbateur. Piaget précise en effet que «dans une perspective d'équilibration, l'une des sources de progrès dans le développement des connaissances est à chercher dans les déséquilibres comme tels, qui seuls obligent le sujet à dépasser son état

actuel» (Piaget, 1975, p. 17). Ces déséquilibres, relatifs à l'état des connaissances antérieures du sujet, traduisent donc un mode d'interaction particulier entre les connaissances auxquelles le sujet fait appel et leur utilisation plus ou moins appropriée selon le contexte.

Un aspect particulièrement intéressant de ce modèle réside dans l'explication du processus de formalisation progressive des connaissances qui permet d'accéder à des niveaux d'abstraction et de conceptualisation de plus en plus élevés. Piaget distingue en effet le niveau des observables, «c'est-à-dire ce que l'expérience permet de constater par une lecture immédiate des faits eux-mêmes», et celui des coordinations «qui comporte des inférences nécessaires et dépasse ainsi la frontière des observables» (Piaget, 1975, p. 50). Les observables sont en quelque sorte les données structurées par les schèmes et les coordinations correspondent aux schèmes permettant de structurer ces données. Les processus d'abstraction en jeu dans la construction de connaissances vont se traduire par une modification du statut des observables qui tendent à s'éloigner des données concrètes et immédiates pour donner lieu à des coordinations inférentielles reposant sur des schèmes de plus en plus formels. Ce sont en effet les coordinations propres à un niveau donné qui déterminent ce qui est «observable» pour le sujet et ce qui ne l'est pas. Et ce sont les relations progressivement effectuées entre les observables d'un niveau donné qui vont permettre la formation progressive de «coordinations» nouvelles. Celles-ci engendrent alors la découverte de nouveaux observables (de niveau  $n+1$ ) qui vont constituer le point de départ de coordinations de niveau supérieur, ce que Piaget appelle une équilibration majorante. C'est ainsi que les opérations propres à un niveau (Coord.  $n$ ) peuvent acquérir le statut d'observables à un niveau supérieur (Obs.  $n+1$ ), permettant d'effectuer des opérations sur des opérations. Les notions d'observables et de coordinations sont centrales puisqu'elles constituent en quelque sorte la traduction, dans le langage de l'équilibration, des processus d'abstractions simple et réfléchissante liés respectivement à la formation des connaissances physiques et logicomathématiques. L'une des distinctions établies par Piaget entre les observables et les coordinations rejoint, en effet, la distinction déjà établie entre ces deux types de connaissances:

[...] les observables de n'importe quel niveau peuvent être fournis aussi bien par les objets que par les actions, tandis qu'une coordination inférentielle, même appliquée ou (finalement) attribuée aux objets, ne peut avoir pour source que la logique du sujet, c'est-à-dire celle qu'il tire de près ou de loin des coordinations générales de ses propres actions (Piaget, 1975, p. 274).

Toute connaissance physique est donc indissociablement physique et logicomathématique puisqu'elle est toujours liée à un «cadre assimilateur». Le schéma suivant (Piaget, 1975, p. 62) illustre cette dynamique particulière du processus d'équilibration majorante.

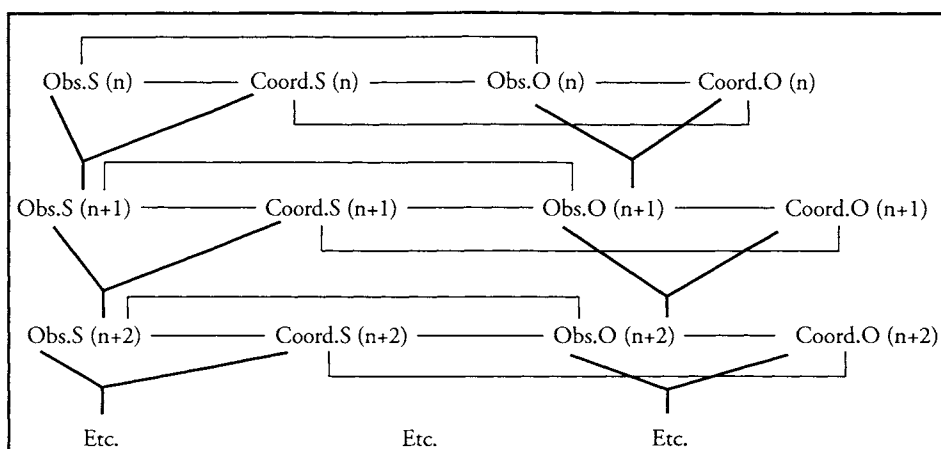


Figure 1 – Modèle général de l'équilibration

Ce modèle souligne la constante solidarité entre les interactions adaptatives avec l'environnement, liées à l'utilisation des connaissances déjà acquises, et les constructions ou réorganisations de la pensée qui résultent de ces interactions (Piaget, Garcia et Vonèche, 1976). Dans cette perspective, il existe une interdépendance étroite entre la compréhension des phénomènes et la conceptualisation des actions. Le sujet prend conscience de ses propres actions ou processus de pensée à partir de leurs résultats sur l'objet. C'est à partir de cette prise de conscience, source de conceptualisation, qu'il comprend les phénomènes. Tout apprentissage suppose donc une activité de l'apprenant, activité qui consiste à utiliser les connaissances et les modes de raisonnement dont il dispose, à les tester à travers leur utilisation et à les modifier en fonction des résultats de celle-ci. C'est dire que le sujet structure l'expérience à partir des schèmes dont il dispose et que, réciproquement, il améliore le contenu et l'organisation même de ses connaissances à partir de ses expériences variées avec les objets. C'est pourquoi interactions et constructions sont toujours intimement liées. L'épreuve des concentrations de Noelting et Cloutier (1970) illustre bien le rôle fondamental de l'objet, source de perturbations, comme support à la construction d'opérations nouvelles. Dans son étude sur l'élaboration du raisonnement proportionnel (épreuve des concentrations), Noelting (1982) propose une interprétation de la succession des stades de développement basée sur le modèle de l'équilibration de Piaget et plus particulièrement sur la notion de phase d'équilibration. Il identifie quatre phases, apparaissant de façon itérative lors du passage de la pensée préopératoire à la pensée opératoire concrète, puis de celle-ci à la pensée opératoire formelle. Ces phases décrivent les stratégies ou conduites régulatrices grâce auxquelles le sujet parvient, au cours d'une période, à intégrer les perturbations initiales issues des objets du milieu appréhendés par ses schèmes et déséquilibrant ceux-ci. Elles représentent les étapes ordonnées de l'intégration progressive de la perturbation ou partie de l'objet qui échappe au schème initial du sujet. Elles vont consister en une restructuration des schèmes initiaux en fonction de leurs interactions adaptatives avec les objets du milieu qu'ils cherchent à assimiler.

L'intérêt du modèle de l'équilibration réside notamment dans sa valeur heuristique (Droz et Volken, 1991; Legendre, 1978). Toutefois, en raison du contexte très général, à la fois biologique (Piaget, 1974), psychogénétique (Piaget, 1975) et historico-critique (Piaget et Garcia, 1983), dans lequel il a été élaboré, ce modèle mérite d'être précisé dans le contexte plus restreint d'une «microgenèse», c'est-à-dire d'un apprentissage relié à des contenus de connaissance relativement spécifiques et s'effectuant sur une période de temps limitée. Il nous a paru pertinent d'en proposer une application à l'analyse d'un processus de changement conceptuel. C'est donc sur ce modèle général des mécanismes en jeu dans la construction des connaissances et, plus particulièrement, sur les notions d'observables et de coordinations que nous nous sommes appuyée pour décrire et analyser la nature des transformations en jeu dans l'apprentissage et les mécanismes qui les sous-tendent.

### *Description et analyse du micromonde*

#### *Description du micromonde*

La notion de «micromonde» a été introduite par Papert (1981) pour décrire l'environnement pédagogique de la «géométrie-tortue», basé sur l'utilisation du langage Logo, en tant que «contexte d'apprentissage piagétien ou spontané». L'objectif de Papert est de concevoir des environnements facilitant à la fois l'apprentissage de notions spécifiques et le développement des structures intellectuelles. Un micromonde est un outil d'inspiration piagétienne (Lawler, 1985), c'est-à-dire un contexte interactif conçu pour favoriser la reconstruction active de certaines notions par l'apprenant à partir de ses connaissances préalables et de leur transformation graduelle au contact d'expériences variées. La notion de micromonde artificiel est plus spécifiquement reliée à l'utilisation de l'ordinateur comme outil pour concevoir des types d'expériences qui ne sont pas directement accessibles dans l'environnement naturel de l'apprenant (diSessa, 1986; Papert, 1981). Les micromondes artificiels sont des «domaines d'expériences» qui permettent de concrétiser, de rendre accessibles à la manipulation et à l'observation des notions abstraites. C'est à cet outil que nous avons eu recours comme support au processus de développement conceptuel de l'apprenant.

Le micromonde que nous avons conçu, à partir du programme de la tortue dynamique de diSessa (1982), se caractérise par la possibilité de donner des impulsions (appelées ici coups en référence au «Kick» dans le micromonde de diSessa) de différentes grandeurs ou intensités ( $G_c$ ) et dans différentes orientations ( $O_c$ ) sur une balle ayant une vitesse initiale d'une certaine grandeur ( $V_i = 20$ ) et d'une certaine orientation ( $O_i = 45$  degrés). Le système de référence en fonction duquel sont représentées les orientations sur l'écran correspond aux axes des coordonnées  $x$  et  $y$ . Zéro degré correspond à une orientation verticale vers le haut (axe des  $y$ ) et 90 degrés,

à une orientation horizontale vers la droite (axe des x). Ce micromonde fait abstraction de divers facteurs, sources de difficultés, tels que les forces de friction, l'attraction gravitationnelle et la masse de l'objet. Cette dernière variable est neutralisée, ce qui se traduit par l'équivalence entre la grandeur de l'impulsion et celle de la vitesse finale, lorsque la vitesse initiale est nulle. Il s'agit d'un environnement délibérément simplifié dans le but de permettre de manipuler, de façon indépendante, des aspects du mouvement qui, dans un contexte physique réel, sont toujours associés. Il vise à représenter, sous une forme claire et précise, les actions (coups ou impulsions) et les phénomènes (modifications du mouvement) dont on veut faciliter la compréhension. Le sujet n'a donc pas à neutraliser lui-même l'effet de certaines variables puisqu'elles ont été exclues de l'environnement. La figure suivante représente la situation de départ sur l'écran.

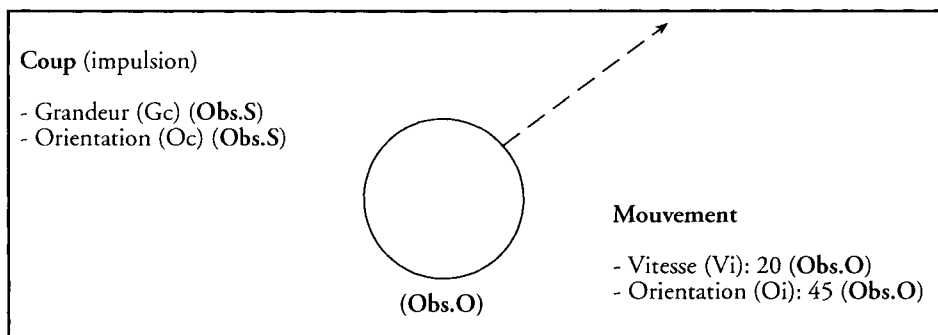


Figure 2 – Situation de départ sur l'écran

On peut décrire l'état de l'objet (mouvement initial), les actions que l'on peut faire (coups de grandeur et d'orientation variées) et les résultats de ces actions (modifications imposées au mouvement) en termes d'observables et de coordinations entre ces divers observables. Ces notions permettent d'établir une distinction entre le niveau des constatations (ce que le sujet observe) et celui des inférences (ce que le sujet déduit à partir de ce qu'il observe). Il va de soi qu'une observation n'est jamais neutre puisqu'elle fait toujours intervenir un «cadre assimilateur». On peut cependant considérer que le micromonde fournit des éléments d'information accessibles à l'observation et pouvant servir de support à la construction d'une interprétation. Les observables se réfèrent ici aux informations présentes dans le micromonde sans préjuger de l'utilisation que le sujet peut en faire ni de la signification qu'il leur donne. Les coordinations se réfèrent aux inférences faites à partir de la mise en relation d'éléments d'informations. Une coordination consiste à insérer divers observables dans un système de relations qui permet de faire des inférences, c'est-à-dire de prédire ou de déduire des aspects d'une situation qui n'ont pas encore été ou qui ne peuvent être directement perçus. Dans ce micromonde, chaque situation peut être décrite en termes d'observables et de coordinations. Les premiers correspondent aux informations pertinentes à la situation et les secondes, aux relations qu'il convient d'établir entre elles. On peut envisager l'apprentissage effectué par le sujet au contact de

situations variées sous l'angle de la mise en relation d'observables et de l'élaboration d'observables de niveau supérieur. On suppose alors que le sujet, au fur et à mesure qu'il effectue de nouvelles coordinations, devient apte à interpréter des informations qui n'étaient pas assimilables auparavant. Il accède ainsi à de nouveaux observables, sources de nouvelles coordinations. Dans ce micromonde, les observables relatifs à l'objet (Obs. O) correspondent au mouvement de la balle sur l'écran ainsi qu'aux valeurs numériques associées à la grandeur et à l'orientation de la vitesse initiale et de la vitesse finale. Les observables relatifs à l'action (Obs. S.) correspondent aux valeurs numériques associées à la grandeur et à l'orientation de l'impulsion (coup). Les coordinations sont les transformations permettant de passer de l'état initial à l'état final. Elles concernent donc les liaisons causales (Coord. S et Coord. O) entre les actions et leurs résultats, liaisons qui peuvent s'avérer plus ou moins faciles à effectuer en fonction des situations.

### *Analyse de la tâche*

L'analyse de tâche, qui a précédé l'étude expérimentale, est une analyse conceptuelle théorique qui avait pour but de fournir une description ou modélisation des représentations qualitatives (connaissances visées) que nous voulions amener les sujets à élaborer à travers leur exploration du micromonde. Ces représentations mettent l'accent sur la dimension logicomathématique du raisonnement: elles reposent sur la capacité d'effectuer des approximations qualitatives de la grandeur et de la direction du mouvement final à partir des valeurs associées aux caractéristiques de l'impulsion (coup). Il s'agit en fait de comprendre quelles sont les variables en jeu et de quelles manières elles interagissent. Ces représentations ont été décrites à l'aide du concept de schème développé par la psychologie cognitive et l'intelligence artificielle. Un schème est une structure de connaissance interactive permettant de traiter les informations en provenance de l'environnement à partir des connaissances présentes en mémoire et de leur mode d'organisation et de gestion (Duit, 1991; Glaser, 1987; Rumelhart et Ortony, 1977; Rumelhart, 1980). Nous possédons en mémoire un grand nombre de schèmes qui peuvent être plus ou moins élaborés et se situer à différents niveaux de généralité ou d'abstraction. Cette notion présente de nombreuses analogies avec la notion piagétienne de schème d'assimilation puisque l'une et l'autre mettent l'accent sur l'interaction nécessaire entre les données provenant de l'extérieur et la connaissance déjà existante (Anderson, 1977). Toutefois, alors que la notion piagétienne de schème d'assimilation désigne «ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou applications de la même action» (Piaget, 1967a, p. 23), les schèmes, dans la perspective de la psychologie cognitive, ne se réduisent pas à la structure du raisonnement, mais intègrent, dans leur définition même, les contenus sur lesquels ils portent. Ainsi, nous disposons en mémoire non seulement de processus de raisonnement généraux, comme ceux qui caractérisent la pensée opératoire formelle, mais également d'un grand nombre de schèmes représentant nos expériences et connaissances variées en rapport avec des situations, des événements, des objets, des personnes.



Tout comme les schèmes piagétiens, ces schèmes présentent une caractéristique essentielle qui est à la base même du processus d'apprentissage: ils ont le pouvoir de se modifier à travers leur utilisation. Ce ne sont donc pas des entités statiques, mais des structures d'information modifiables.

L'analyse de tâche a d'abord consisté à identifier, à l'intérieur de ce micromonde, deux grandes catégories de situations: les situations unidimensionnelles dans lesquelles la direction de l'impulsion est identique ou opposée à celle du mouvement initial, soit  $O_c = O_i$  ou  $O_c = O_i + 180$  degrés; les situations bidimensionnelles dans lesquelles la direction de l'impulsion est différente de celle du mouvement initial, soit  $O_c$  différente de  $O_i$ . Les principaux problèmes à résoudre en rapport avec ces situations consistent à comprendre comment les composantes grandeur et direction du vecteur-vitesse se trouvent affectées par les caractéristiques ou composantes grandeur et orientation de l'impulsion. Nous avons envisagé la compréhension des effets de l'impulsion sur le mouvement de la balle comme un problème complexe pouvant être décomposé en problèmes plus simples sur lesquels on peut travailler séparément. Résoudre ces problèmes consiste, dans cette perspective, à construire des représentations (ou schèmes) appropriées en rapport avec ces différentes situations. L'analyse de tâche nous a amenée à définir trois schèmes distincts, pouvant donner lieu à des constructions successives, à savoir le schème unidimensionnel, le schème de la moyenne et le schème de l'écart.

Le schème unidimensionnel correspond à la représentation des changements de vitesse et d'orientation dans les situations unidimensionnelles. Il permet de prévoir avec exactitude la grandeur et l'orientation finales de la vélocité de la balle à partir des valeurs associées au mouvement initial et au coup.

Le schème de la moyenne correspond à la représentation des changements d'orientation dans les situations bidimensionnelles. Il permet de prévoir l'orientation finale avec précision quand la grandeur du coup est égale à la vitesse initiale, puisqu'elle constitue alors la moyenne de l'orientation initiale et de celle du coup (bissectrice de l'angle formé par ces deux orientations), et approximativement, en référence à la «moyenne», quand la grandeur du coup ( $G_c$ ) diffère de celle de la vitesse initiale ( $V_i$ ).

Le schème de l'écart correspond à la représentation des changements de vitesse dans les situations bidimensionnelles. Il permet de prévoir approximativement la grandeur de la vitesse finale en référence à la limite de 120 degrés qui conserve au mouvement la grandeur mais non la direction de sa vitesse initiale, lorsque la grandeur du coup ( $G_c$ ) est égale à celle de la vitesse initiale ( $V_i$ ). Il permet aussi d'anticiper approximativement la limite (orientation permettant de conserver au mouvement la grandeur, mais non la direction de sa vitesse), lorsque la grandeur du coup diffère de celle la vitesse initiale ( $G_c$  différente de  $V_i$ ). Ceci permet de prévoir si la grandeur de la vitesse initiale va augmenter ou diminuer et si ce sera de beaucoup ou de peu.

Ces schèmes sont donc des représentations adaptées à certaines catégories de situations ou de problèmes à propos de ces situations. Ils reposent sur une quantification logique ou intensive des relations en jeu, permettant d'effectuer des anticipations, précises dans certains cas et approximatives dans la plupart des autres cas. Le raisonnement logique sur lequel ils reposent peut être mis en relation avec les schèmes opératoires formels de la combinatoire et du groupe INRC décrits par Piaget qui rendent possibles la dissociation des facteurs, le contrôle des variables et le raisonnement proportionnel. Ce raisonnement qualitatif permet essentiellement de délimiter le champ des possibilités logiques et non d'effectuer des calculs précis dans tous les cas. Ces représentations qualitatives pourront néanmoins servir de base à une démarche de quantification plus précise.

Cette analyse avait pour but de guider l'intervention pédagogique à deux niveaux. Au niveau du diagnostic des représentations des élèves, il s'agissait de repérer, à travers les conduites spontanées du sujet, c'est-à-dire leurs manipulations, observations, anticipations et/ou explications, la présence ou l'absence de ces schèmes ou de certaines de leurs composantes. Au niveau du choix des interventions, il s'agissait d'identifier les obstacles franchissables, c'est-à-dire les difficultés pouvant être surmontées par le sujet à l'aide des connaissances et outils intellectuels à sa disposition, et de provoquer la rencontre avec ces obstacles.

### *Aperçu de l'étude expérimentale*

#### *Sujets et lieu de la recherche*

L'étude expérimentale a été réalisée dans une école secondaire privée, de la région de Québec, fréquentée uniquement par des jeunes filles. Le but de la recherche n'étant pas d'évaluer la performance des sujets en fonction de diverses variables telles que le groupe d'appartenance sexuelle ou le milieu socioéconomique, le choix de l'école repose sur des considérations d'ordre pratique. Comme nous étions intéressée à l'impact des connaissances antérieures de l'élève, nous avons travaillé avec cinq étudiantes de 3<sup>e</sup> secondaire, qui n'avaient jamais suivi de cours de physique et cinq étudiantes de 5<sup>e</sup> secondaire, qui avaient fait de la physique en 4<sup>e</sup> secondaire et avaient abordé la notion de vecteurs. Il s'agit donc d'une recherche qualitative, portant sur l'analyse détaillée de protocoles individuels. Les sujets ont été sélectionnés sur une base volontaire. Nous leur avons proposé d'explorer, à l'aide de l'ordinateur, des phénomènes physiques reliés au mouvement; nous leur avons précisé que notre but n'était pas d'évaluer leur performance, mais d'analyser l'intérêt de cet outil et la façon de l'exploiter.

#### *Scénario d'intervention*

Notre scénario d'intervention avait pour but de guider la démarche d'exploration des sujets de manière à faciliter la construction graduelle des divers schèmes,

préalablement identifiés, à partir des connaissances spontanément évoquées au contact de situations variées. L'étude expérimentale s'est déroulée en sept séances de 45 minutes, à raison de deux séances par semaine, sauf pour la septième séance qui a eu lieu cinq semaines après la sixième. Le scénario utilisé est le suivant.

*Exploration libre.* – Au cours de la première séance, on laisse le sujet explorer librement, sans orienter sa démarche, de manière à identifier les actions effectuées et les représentations évoquées au contact des situations générées. Après avoir expliqué le fonctionnement des clés, on lui donne simplement la consigne suivante: «J'aimerais que tu essaies de m'expliquer ce qui se passe lorsqu'on donne une impulsion (coup) à la balle.»

*Exploration guidée.* – Cette exploration s'étend de la deuxième séance à la cinquième séance inclusivement; elle comporte trois phases: la première porte sur l'exploration des situations unidimensionnelles; la seconde, sur l'exploration des changements d'orientation dans les situations bidimensionnelles; la troisième, sur l'exploration des changements de vitesse dans les situations bidimensionnelles. Ces phases étant de durée plus ou moins longue selon les sujets, elles peuvent être différemment réparties sur les quatre séances. Les interventions prévues consistent à faire des suggestions ou à poser des problèmes aux sujets. En voici des exemples.

Phase I. (1) Augmenter la grandeur de la vitesse sans en changer la direction; (2) ralentir le mouvement de la balle ou l'arrêter; (3) modifier l'orientation initiale de 180 degrés ou prévoir l'effet d'une impulsion de direction opposée à celle du mouvement.

Phase II. (1) Prévoir l'orientation finale lorsque la direction de l'impulsion diffère de celle de la vitesse initiale; (2) explorer l'effet d'une impulsion (coup) dont la grandeur ( $G_c$ ) est identique à celle de la vitesse initiale; (3) explorer ce qui se passe si la grandeur de l'impulsion diffère de celle la vitesse initiale; (4) modifier de 90 degrés la direction initiale du mouvement avec une impulsion de même grandeur que celle de la vitesse initiale (ce qui est impossible et constitue, de ce fait, un situation conflictuelle).

Phase III. (1) Prévoir, en fonction de la direction de l'impulsion, si la grandeur de la vitesse va augmenter ou diminuer; (2) explorer l'effet d'une impulsion de même grandeur que celle de la vitesse initiale; (3) essayer de prévoir, pour une impulsion de même grandeur que celle de la vitesse initiale, à partir de quel moment la grandeur de la vitesse cesse d'augmenter; (4) explorer l'effet d'une impulsion dont la grandeur diffère de celle de la vitesse initiale.

*Représentations évoquées au terme de l'exploration.* – Les sixième et septième séances ont simplement pour but d'identifier les niveaux de compréhension atteints par les sujets à la fin de leur exploration. La sixième séance a eu lieu quelques jours après la cinquième et la septième, qui n'est qu'une répétition de la sixième, a eu lieu 5 semaines plus tard. La question posée est la même qu'à la première séance.

Notre objectif n'était pas de tester une méthode d'enseignement, mais d'analyser les processus de construction et de modification de schèmes reliés à l'exploration du micromonde. Nous avons envisagé ce changement conceptuel sous l'angle d'un processus d'équilibration progressive consistant à modifier les représentations ou schèmes initiaux à travers leur utilisation de façon à permettre l'intégration de nouveaux éléments d'information. C'est pourquoi, plutôt que de laisser les sujets tâtonner, nous avons conçu, à partir de l'analyse de la tâche en termes de schèmes, un scénario d'intervention permettant de guider la démarche d'exploration des sujets. Les interventions prévues visaient essentiellement à faciliter la rééquilibration, si les situations produites s'avéraient trop complexes à interpréter ou, au contraire, à provoquer des déséquilibres en confrontant le sujet à des situations jugées *a priori* plus complexes que celles qu'il maîtrisait. L'observation des stratégies spontanées des sujets avait donc pour but d'identifier les types de situations auxquelles les confronter ainsi que leur enchaînement. Les conflits, contradictions ou anticipations erronées, pouvaient alors être délibérément utilisés pour faire progresser le sujet.

### *Recueil et analyse des données*

Les données ont été recueillies de la façon suivante: tout ce qui a été dit par le sujet et par nous-même en tant qu'intervenante a été enregistré sur magnétophone et retranscrit sous la forme de verbatim. Les manipulations effectuées par les sujets à chacune des séances et leurs résultats sur le mouvement de la balle ont été enregistrés sur l'imprimante. Ceci représente environ 700 pages de protocole. Nous avons regroupé tous les sujets de 3<sup>e</sup> secondaire puis tous les sujets de 5<sup>e</sup> secondaire. Dans chacun des deux groupes, les données ont été structurées en relation avec les différentes phases d'exploration prévues dans le scénario, ces phases étant elles-mêmes associées aux schèmes préalablement identifiés dans l'analyse de la tâche. Le tableau suivant résume la façon dont nous avons structuré les données pour l'analyse qualitative.

L'analyse qualitative avait pour but d'identifier comment ces représentations ou schèmes sont graduellement construits par les sujets à travers leurs interactions avec des situations variées. Après avoir retracé la démarche d'apprentissage de chaque étudiante à partir de ses anticipations spontanées et des situations progressivement structurées à chacune des phases, nous avons cherché à mettre en évidence certaines caractéristiques communes aux sujets d'un même groupe. Puis, nous nous sommes penchée sur l'analyse des processus de changement conceptuel intervenant dans la construction progressive des divers schèmes. Notre analyse s'apparente beaucoup à l'analyse génétique de tâche proposée par diSessa (1982) qui tente d'identifier les compréhensions partielles et génétiquement antécédentes qui seront utilisées dans la formation de schèmes plus complexes.

**Tableau 1**  
**Structuration des données**

	Exploration libre (1 <sup>re</sup> séance)	Identification
3 <sup>e</sup> secondaire	Diagnostic des représentations	- des stratégies
5 <sup>e</sup> secondaire	évoquées	- des anticipations - des explications spontanées
3 <sup>e</sup> secondaire	Phase I	Construction (ou évocation) du schème unidimensionnel
5 <sup>e</sup> secondaire	Exploration des situations unidimensionnelles	- étapes et processus de passage de l'état initial à l'état visé
3 <sup>e</sup> secondaire	Phase II	Construction du schème de la moyenne
5 <sup>e</sup> secondaire	Exploration des changements d'orientation dans les situations bidimensionnelles	- étapes et processus de passage de l'état initial à l'état visé
3 <sup>e</sup> secondaire	Phase III	Construction du schème de l'écart
5 <sup>e</sup> secondaire	Exploration des changements de vitesse dans les situations bidimensionnelles	- étapes et processus de passage de l'état initial à l'état visé
3 <sup>e</sup> secondaire	Diagnostic des connaissances acquises (6 <sup>e</sup> et 7 <sup>e</sup> séances)	Identification
5 <sup>e</sup> secondaire		- des stratégies - des anticipations - des explications spontanées

### *Aperçu des résultats de l'analyse qualitative*

Nous donnons ici un aperçu des principales caractéristiques observées dans chacun des deux groupes aux différentes phases d'exploration prévues dans le scénario.

#### *Exploration libre (première séance)*

Les conduites observées au cours de cette séance nous révèlent la compréhension initiale spontanée des sujets avant que ne débute l'exploration proprement dite. Pour les situations unidimensionnelles, il est difficile d'évaluer la compréhension qu'en ont les sujets de 3<sup>e</sup> secondaire et l'un des sujets de 5<sup>e</sup> secondaire, puisque les situations générées sont toutes bidimensionnelles. On peut tout au plus constater qu'ils ne différencient pas les situations unidimensionnelles et bidimensionnelles. Leurs anticipations et leurs stratégies reflètent l'idée selon laquelle la grandeur du coup détermine la vitesse finale et l'orientation du coup détermine l'orientation finale. Leurs manipulations consistent en centrations successives et alternées sur les changements de vitesse ou les changements d'orientation. Elles donnent lieu à

quelques observations pertinentes, mais celles-ci demeurent isolées les unes des autres, ce qui ne permet pas l'établissement de relations appropriées entre les caractéristiques du coup, celles du mouvement initial et celles du mouvement final. Voici un exemple d'observations plutôt globales que font les sujets au terme de cette séance.

ANA. – *«La grandeur (grandeur du coup, soit  $G_c$ ) fait changer la vitesse et l'orientation, mais l'orientation ne fait pas beaucoup changer... c'est quand j'ai une grande grandeur que ma balle change de sens. J'ai compris que la vitesse, d'après le coup que je donnais, elle changeait. Mais je n'ai pas compris les changements des chiffres de l'orientation.»*

NAD. – *«Je pense que si le coup est vraiment grand, l'orientation va augmenter ou diminuer de beaucoup, tandis que si je donne un petit coup, l'orientation va augmenter ou diminuer juste un peu. La vitesse, je n'ai pas beaucoup compris.»*

Chez les autres sujets de 5<sup>e</sup> secondaire (4 sur 5), les principales stratégies observées sont les suivantes: (1) donner un coup en direction opposée à celle du mouvement initial pour diminuer la grandeur de la vitesse; (2) donner un coup dans une direction très différente, mais non opposée à celle de la vitesse initiale; (3) donner des coups de grandeur négative pour voir si la vitesse va diminuer; (4) chercher la grandeur et l'orientation du vecteur-coup permettant d'obtenir le vecteur-vitesse le plus petit possible. Voici un exemple d'explications fournies par l'un des sujets au terme de cette séance.

LUC. – *«On donne une impulsion, une force dans une direction. Vu que la direction n'est pas la même, c'est de l'addition de vecteurs... tout dépendant de la grandeur de mon vecteur, ma vitesse va être plus ou moins grande. Mais je ne sais pas exactement la longueur de mon vecteur...»*

Toutes ces étudiantes semblent différencier, du moins implicitement, l'unidimensionnel et le bidimensionnel et font parfois même appel à certains éléments de connaissance à propos des vecteurs. Toutefois, une seule d'entre elles reconstitue spontanément les situations unidimensionnelles. Elle réussit d'ailleurs à arrêter le mouvement et à établir une première relation entre la grandeur de l'impulsion et celle de la vitesse.

### *Phase I: exploration des situations unidimensionnelles*

L'exploration de ces situations permet d'établir une première différence significative entre les étudiantes de 3<sup>e</sup> secondaire et celles de 5<sup>e</sup> secondaire. Les premières parviennent à comprendre ces situations au terme d'une exploration plus ou moins tâtonnante alors qu'elles sont spontanément évoquées dès le départ par la majorité des étudiantes de 5<sup>e</sup> secondaire (4 sur 5). De plus, ces dernières différencient explicitement le bidimensionnel et l'unidimensionnel, ce qui n'est pas le cas pour les sujets de 3<sup>e</sup> secondaire.

Voici quelques exemples.

ANA. (3<sup>e</sup> sec.) – Après avoir compris comment augmenter la grandeur de la vitesse sans modifier l'orientation, elle essaie de la diminuer. *«Je vais diminuer la grandeur (grandeur du coup, soit Gc). Si je la mets à 30, et je garde la même orientation, peut-être qu'elle va ralentir... C'est à peu près la même vitesse, elle a augmenté mais pas de beaucoup»*. – De combien? – *«De 30... Si je veux la faire diminuer... (elle donne un coup de Gc = 2). Quand je donne un grand coup, ça va plus vite, mais si j'essaie de donner un petit coup, ça ne va pas plus lentement parce que ça l'air que tous les coups que je donne s'additionnent au coup que j'avais avant... si je donne un coup de 5, c'est 5 de plus.»* – *Et qu'est-ce que tu pourrais faire pour ralentir le mouvement?* – *«Peut-être en mettant le contraire. Je me dis que si à 45 la vitesse va toujours en augmentant, peut-être que si je fais carrément le contraire (soit Oc = Oi + 180) ça va aller en diminuant...»*

CAR. (5<sup>e</sup> sec.) – *«J'ai une vitesse de 20 et une orientation de 45. Mon orientation va rester la même si je donne un coup à 45 (soit Oc) et que c'est initialement à 45 (soit Oi). Je prévois que la vitesse va augmenter... c'est ça. Si j'essaie de diminuer... c'est l'orientation que je dois changer du tout au tout. Je vais mettre la grandeur à 100 (soit Gc) et une orientation à 225. Elle a changé complètement d'orientation et ma vitesse est de 10 parce que j'avais une vitesse de 90. Voilà, la différence on la voit 100 - 90 = 10.»*

## *Phase II: exploration des changements d'orientation bidimensionnels*

— Sujets de 3<sup>e</sup> secondaire

Aucune d'entre elles ne se représente correctement les changements d'orientation et elles ont toutes tendance à généraliser aux situations bidimensionnelles les relations établies dans les situations unidimensionnelles. Faute de différencier ces deux catégories de situations, elles ne comprennent pas pourquoi l'orientation finale n'est pas identique à celle du coup et ne voient pas du tout en quoi la grandeur de l'impulsion ou le nombre d'impulsions affectent le changement d'orientation. Leurs manipulations les amènent tout au plus à constater que l'«orientation finale ne correspond pas à celle du coup» et que «même lorsqu'on donne un très grand nombre de coups, l'orientation de la balle ne fait que se rapprocher de celle du coup sans jamais l'atteindre». En voici un exemple.

Expérimentateur – *As-tu une idée de ce qui va se passer si tu donnes une impulsion dans une orientation différente de celle de la balle?*

ANA. – *La direction de la balle va changer. Si je la mets à 90, je pense qu'elle va aller à 90... C'est presque horizontal mais pas complètement. Moi, j'aurais cru que ce serait allé à 90 complètement, pas à 85...*

L'exploration de ces situations les amène à différencier les situations bidimensionnelles des situations unidimensionnelles et à comprendre graduellement les

relations qualitatives en jeu entre les caractéristiques du coup et celles du mouvement initial. Quatre sujets sur cinq parviennent à utiliser correctement le raisonnement basé sur la moyenne pour anticiper ou pour expliquer les changements d'orientation.

— Sujets de 5<sup>e</sup> secondaire

Contrairement aux précédentes, les étudiantes de 5<sup>e</sup> secondaire comprennent toutes, à des degrés divers, la nécessité de tenir compte du mouvement initial. La plupart évoquent même spontanément certaines connaissances relatives aux vecteurs pour anticiper ou pour expliquer les résultats du coup. En voici un exemple.

Expérimentateur: *As-tu une idée de ce qui va se passer si tu donnes un coup dans une orientation différente de celle de la balle?*

CAR. – *J'utiliserais des vecteurs sur papier. Je peux à peu près prévoir quelle direction. Supposons que je donne un coup d'une grandeur de 25 avec l'orientation 45 ( $O_i = 90$  et  $V_i = 5$ ), je sais qu'elle va monter... Elle n'est pas montée de 45 évidemment... – Pourquoi? – Parce qu'elle avait déjà une orientation avec une certaine vitesse. Si mon mouvement était arrêté, c'est sûr qu'elle aurait pris une orientation de 45...*

Toutefois, même si plusieurs évoquent spontanément l'idée de moyenne ou de milieu de l'écart, celle-ci n'est pas toujours reliée à l'égalité de la grandeur de l'impulsion et de la grandeur de la vitesse initiale (soit  $G_c = V_i$ ). La moyenne ne constitue donc pas encore un référent stable permettant de comprendre les situations dans lesquelles la grandeur de l'impulsion diffère de celle de la vitesse initiale. L'un des sujets arrive à prévoir à peu près l'orientation finale en reproduisant les vecteurs à l'échelle, mais il ne découvre qu'après plusieurs manipulations l'idée de «moyenne», c'est-à-dire le fait que «l'orientation finale se situe toujours dans le milieu lorsque la grandeur de l'impulsion et celle de la vitesse initiale ont la même valeur».

Cette exploration leur permet donc de raffiner leur représentation en termes de vecteurs puisqu'elles différencient mieux les situations les plus simples, dans lesquelles on peut prévoir l'orientation finale avec exactitude, des situations plus complexes, dans lesquelles les prévisions demeurent approximatives. Le raisonnement qualitatif, basé sur la représentation des changements d'orientation bidimensionnels en référence à la «moyenne», leur permet ainsi d'introduire une hiérarchie entre des situations initialement considérées comme formellement équivalentes, ce qui facilite les prévisions et contribue à délimiter le champ des possibilités logiques.

*Phase III: exploration des changements de vitesse bidimensionnels*

— Sujets de 3<sup>e</sup> secondaire

Les sujets de 3<sup>e</sup> secondaire comprennent d'emblée la nécessité de tenir compte du mouvement initial dans l'anticipation des effets du coup. Elles savent également



que l'augmentation de vitesse sera nécessairement inférieure à la grandeur de l'impulsion si l'orientation du coup n'est pas identique à celle du mouvement initial. Lorsqu'on leur demande comment elles font pour savoir si la vitesse va augmenter ou au contraire diminuer, l'orientation du coup étant différente de celle du mouvement initial, elles raisonnent spontanément en termes d'écart plus ou moins grand entre l'orientation initiale et celle du coup. En voici un exemple.

MAT. — *De plus en plus qu'on se rapproche de l'opposé, de plus en plus que la vitesse diminue. De plus en plus qu'on se rapproche de l'orientation qu'elle allait (soit l'orientation initiale du mouvement), de plus en plus qu'elle augmente.*

Ce raisonnement en termes d'écart leur permet d'envisager les changements de vitesse (augmentation ou diminution) dans un *continuum* et les amène à faire spontanément l'hypothèse, au cours de l'exploration, que si la vitesse augmente dans certains cas et diminue dans d'autres cas, il devrait bien y avoir une orientation où la vitesse reste pareille. Ce raisonnement va donner lieu à une succession de stratégies conduisant, par approximations successives, à la découverte de la limite qui conserve au mouvement la grandeur de sa vitesse, dans les cas où la grandeur de l'impulsion est identique à celle de la vitesse initiale. La stratégie utilisée consiste à revenir à la situation de départ (soit  $V_i = 20$  et  $O_i = 45$ ) et à essayer des coups de différentes orientations, mais de grandeur égale à celle de la vitesse initiale.

#### — Sujets de 5<sup>e</sup> secondaire

Bien que leurs connaissances sur les vecteurs leur permettent de faire certaines prévisions, leurs représentations qualitatives initiales s'apparentent beaucoup à celles des étudiantes de 3<sup>e</sup> secondaire. Elles font elles aussi l'hypothèse qu'il doit bien exister une orientation à partir de laquelle la vitesse commence à diminuer. Mais elles ne savent pas davantage quelle est cette orientation et elles ne peuvent prévoir approximativement les changements de vitesse que dans les cas extrêmes où l'orientation du coup est soit très proche ou, au contraire, très éloignée de celle du mouvement initial. Leur démarche d'exploration est donc très similaire à celle des étudiantes de 3<sup>e</sup> secondaire. On retrouve, chez tous ces sujets, l'hypothèse erronée selon laquelle la limite à partir de laquelle la vitesse commence à diminuer se situe à 90 degrés du mouvement initial (la grandeur de l'impulsion étant la même que celle de la vitesse). Si les étudiantes de 5<sup>e</sup> secondaire possèdent au départ une certaine représentation vectorielle de la vitesse, leur compréhension qualitative n'est toutefois guère plus élaborée que celle des sujets de 3<sup>e</sup> secondaire. Ce qui les différencie surtout, au terme de cette phase d'exploration, c'est la capacité qu'ont certaines d'entre elles d'expliquer la conservation de la vitesse initiale en relation avec la représentation géométrique des vecteurs (triangles équilatéral quand  $G_c = V_i$  et isocèle quand  $G_c$  différente de  $V_i$ ). Elles parviennent à dépasser le simple niveau de la constatation (la vitesse se conserve avec un écart de 120 degrés quand la grandeur

de l'impulsion est égale à celle de la vitesse initiale) pour atteindre celui de l'explication (pourquoi c'est précisément avec un écart de 120 degrés que  $G_c = V_i = V_f$ ). En voici un exemple.

CHA. – Elle vient de découvrir la limite de 120 degrés qui conserve la grandeur de la vitesse initiale. – *«Il y a 240 et 120. Ces deux valeurs conservent la vitesse. Je ne sais pas s'il y en aurait d'autres»*. – Elle essaie une orientation de 300 et constatant que la vitesse augmente, elle conclut: *«Il y a seulement ces valeurs-là. Tout ce qui est entre 240 et 360 et entre 360 et 120, la vitesse augmente. 240 et 120 conservent la vitesse et les autres valeurs d'orientation diminuent la vitesse.»* On lui demande si elle peut faire le lien avec la représentation graphique des vecteurs. – *«Je cherchais pourquoi le 120, mais comme ça c'est clair. Comme on a trois côtés égaux, donc trois angles égaux, ça peut pas être autre chose que 120.»*

### *Résultat de l'exploration (sixième et septième séances)*

Les conduites observées à la sixième séance révèlent que les situations unidimensionnelles sont comprises par l'ensemble des sujets. Par ailleurs, toutes les étudiantes de 5<sup>e</sup> secondaire, sauf une (4/5), et trois étudiantes de 3<sup>e</sup> secondaire (3/5) ont une représentation appropriée des changements de vitesse et d'orientation dans les situations bidimensionnelles (schème de la moyenne et schème de l'écart). Une étudiante de 5<sup>e</sup> secondaire ne comprend que partiellement les changements d'orientation et sa compréhension des changements de vitesse demeure très globale. Les deux autres sujets de 3<sup>e</sup> secondaire comprennent bien les changements d'orientation, mais les changements de vitesse n'ont pu être explorés par l'une d'entre elles et cette exploration n'est qu'à peine amorcée chez la seconde. Les données recueillies à la septième séance sont sensiblement les mêmes qu'à la sixième séance, dénotant une relative stabilité des représentations construites au cours de l'exploration. Voici deux exemples relatifs à la compréhension des changements de vitesse dans les situations bidimensionnelles.

NAD. (3<sup>e</sup> sec.) – *«Disons que je l'envoie à 120 degrés (par rapport à  $O_i$ ), la vitesse va rester pareille. De là jusqu'à ce champ-là, au 120 degrés, elle va augmenter et le 120 degrés qui reste, elle va diminuer.»* – *Est-ce qu'il y a une raison à cela?* – *«Si je donne un coup qui est proche de son opposé, elle va diminuer, mais si je donne un coup qui est assez proche, même si ce n'est pas trop proche, de l'orientation qu'elle a déjà, ça va quand même la faire augmenter.»* – *Est-ce que c'est toujours un champ de 120 degrés, quelle que soit la grandeur du coup?* – *«Quand la grandeur du coup est plus grande que la vitesse, il y a un plus grand champ qui va faire que la vitesse augmente. Quand la grandeur est plus petite, ça va aller moins loin (autrement dit l'écart sera moins grand) si je veux que la vitesse augmente.»*

CAR. (5<sup>e</sup> sec.) – *«J'ai découvert que si j'ai une vitesse initiale de  $x$  et que je lui donne un coup de  $x$ , quand je veux que mon mouvement final ait cette même valeur de  $x$ , il faut que je fasse, pour l'orientation du coup, un écart de 120 degrés... puis j'ai le cas où mon coup a une grandeur plus grande que ma vitesse... le coup va nécessiter un plus grand écart. Je me souviens qu'un coup de 30 (lorsque  $V_i$  est de 20) faisait un écart dans les environs de 135, 140. Plus mon coup grandit en grandeur, plus l'écart nécessaire pour que ma vitesse finale soit égale à ma vitesse initiale va augmenter». – As-tu l'impression d'avoir appris quelque chose au cours de ton exploration? – «Le meilleur exemple, c'est l'écart de 120 degrés. Je n'y aurais jamais pensé. On le découvre au fur et à mesure qu'on expérimente, qu'on se pose des questions, qu'on essaie de prévoir nos coups... puis lorsque la grandeur du coup est égale à la vitesse, la notion d'écart divisé par deux, ce n'est pas évident sur une feuille sauf dans le cas simple où on a un écart de 90 degrés.»*

### *Interprétation des résultats*

Nous avons eu recours au modèle de l'équilibration et, plus particulièrement, aux notions d'observables et de coordinations pour analyser les processus de changement conceptuel en jeu dans la construction des divers schèmes, unidimensionnel, moyenne et écart, reliés à la compréhension qualitative des aspects vectoriels de la composition d'une impulsion avec un mouvement initial, dans le contexte d'un micro-monde. L'interprétation des données a consisté à montrer comment les observables pertinents à la compréhension d'une situation ou d'une catégorie de situations sont mis en relation et quelles inférences en résultent, puis comment les coordinations propres à un niveau donné peuvent constituer, à une étape ultérieure, des observables faisant l'objet de nouvelles coordinations. Nous décrirons brièvement les principales étapes de construction de chacun des schèmes avant de présenter les processus d'équilibration en jeu dans le passage d'une étape à la suivante.

### *Étapes*

Ces étapes reflètent l'ordre dans lequel les sujets sont amenés à identifier puis à mettre en relation divers éléments d'information dans des systèmes de relations (schèmes) permettant de faire des inférences, c'est-à-dire de prévoir ou d'expliquer certaines situations. Elles sont reliées aux phases d'exploration prévues dans le scénario d'intervention, celles-ci ayant précisément pour but d'induire la construction graduelle des divers schèmes. Ainsi, la compréhension des situations unidimensionnelles précède celle des situations bidimensionnelles et en constitue le point de départ. La compréhension des changements d'orientation précède celle des changements de vitesse. Enfin, la capacité d'identifier les «cas simples», sujets à des évaluations quantitatives précises, sert de base à la compréhension qualitative de situations plus difficiles à quantifier. Le tableau suivant fournit une représentation schématique des étapes de construction des schèmes, associées à chacune des phases d'exploration.

**Tableau 2**  
**Étapes de construction associées aux phases d'exploration**

Étapes de construction/ Phases d'exploration	Première étape	Deuxième étape	Troisième étape
Phase I Exploration des situations unidimensionnelles	Découverte de l'effet d'un coup donné dans la même orientation que celle du mouvement initial.  <i>Quand <math>O_c = O_i</math> <math>V_i</math> augmente de <math>G_c</math> et <math>O_f = O_i</math></i>	Découverte de l'effet d'un coup de direction opposée à celle du mouvement initial.  <i>Quand <math>G_c = O_i + 180</math> <math>V_i</math> diminue de <math>G_c</math> Si <math>G_c</math> inférieure à <math>O_i</math> alors <math>O_f = O_i</math> Si <math>G_c</math> supérieure à <math>V_i</math> alors <math>O_f = O_c</math> Si <math>G_c = V_i</math>, alors la balle s'arrête Si <math>G_c = V_i \times 2</math> alors <math>O_f = O_c</math> et <math>V_f = V_i</math></i>	
Phase II Exploration des changements de vitesse bidimensionnels	Découverte de la moyenne ou du milieu de l'écart.  <i>Quand <math>O_c</math> est différente de <math>O_i</math> <math>O_f =</math> moyenne de <math>O_c + O_i</math> ou milieu de l'écart entre <math>O_c</math> et <math>O_i</math></i>	Mise en relation du rôle de la grandeur avec celui de l'écart.  <i>Quand <math>O_c</math> différente de <math>O_i</math> Si <math>G_c</math> inférieure à <math>V_i</math>, alors <math>O_f</math> est entre <math>O_i</math> et milieu de <math>O_i</math> et <math>O_d</math> Si <math>G_c</math> supérieure à <math>V_i</math>, alors <math>O_f</math> entre milieu de <math>O_i</math> et <math>O_c</math> et <math>O_c</math></i>	Découverte des limites à l'intérieur desquelles on peut modifier $O_i$ quand $G_c = V_i$  <i>Quand <math>G_c = V_i</math> <math>O_f</math> est inférieure à <math>O_i + 90</math> degrés</i>
Phase III Exploration des changements de vitesse bidimensionnels	Raisonnement en termes d'écart entre $O_c$ et $O_i$  <i>Plus <math>O_c</math> s'éloigne de <math>O_i</math> et moins <math>V_i</math> augmente Plus <math>O_c</math> est proche de <math>O_i + 180</math> plus <math>V_i</math> diminue</i>	Découverte de la limite où la vitesse initiale ( $V_i$ ) se conserve.  <i>Quand <math>G_c = V_i</math> <math>V_f = V_i = G_c</math> si <math>O_c = O_i + 120</math></i>	Mise en relation du rôle de la grandeur avec celui de l'écart.  <i>Quand <math>G_c</math> est supérieure à <math>V_i</math> la «limite» est supérieure à <math>O_i + 120</math> Quand <math>G_c</math> est inférieure à <math>V_i</math> la limite est inférieure à <math>O_i + 120</math></i>

### *Processus d'équilibration*

Ces processus consistent essentiellement à ajuster les actions initiales en fonction de leurs résultats sur l'objet ce qui conduit, par le fait même, à modifier les représentations ou schèmes initiaux. Ils permettent ainsi de vaincre les déséquilibres engendrés par l'utilisation plus ou moins appropriée de certaines représentations. Nous verrons en quoi ils consistent et comment ils sont rendus possibles par la confron-

tation à des situations appropriées au niveau de compétence du sujet. La possibilité pour le sujet d'agir sur l'objet, de faire des anticipations et de réajuster ses actions à partir de leurs résultats va l'amener à modifier ou à ajuster graduellement sa compréhension des phénomènes avec lesquels il interagit. L'analyse des données nous a permis d'identifier quatre principaux processus intervenant dans la construction de chacun des schèmes et dans leur coordination progressive.

— La mise en relation des observables appropriés, source de coordinations

Ce processus repose sur une centration qui consiste à prendre en considération certaines données accessibles à l'observation et à en négliger d'autres. Il permet d'abstraire certains éléments d'information et de les insérer dans un système de relations (coordinations) permettant de faire des inférences. C'est ce qui se passe, par exemple, lorsque le sujet découvre, en essayant d'augmenter la grandeur de la vitesse sans en changer la direction, qu'en donnant un coup dans une orientation identique à celle du mouvement, «la vitesse augmente et l'orientation ne change pas» (schème unidimensionnel) ou encore lorsqu'il constate, après avoir donné un coup d'une grandeur égale à celle de la vitesse initiale, mais dans une orientation différente, que la «la balle va dans le milieu» (schème de la moyenne). Dans ce dernier cas, la mise en relation des observables appropriés s'effectue au contact des situations dans lesquelles, la variable grandeur étant «neutralisée» ( $G_c = V_i$ ), le sujet se centre sur la relation entre les orientations en jeu. En suggérant au sujet d'essayer un coup de même grandeur que la vitesse initiale, on attire son attention sur des données assimilables qui peuvent être mises en relation. Le sujet se montre alors capable de relier les résultats observés (orientation finale, soit  $O_f$ ) aux actions effectuées (orientation du coup, soit  $O_c$ ) sur un état initial donné (orientation initiale, soit  $O_i$ ) et de les interpréter à la lumière de ses connaissances préalables (en l'occurrence la «moyenne»). On facilite ainsi l'établissement de liens entre ce qui est connu et ce qui est nouveau.

Cette mise en relation d'observables est source d'anticipations nouvelles qui vont orienter aussi bien le choix des actions à effectuer en fonction du résultat recherché que la lecture même des observables, c'est-à-dire l'interprétation des résultats. Elle engendre l'élaboration d'une nouvelle procédure (trouver une moyenne entre deux orientations), définie en compréhension, mais non en extension, puisque le sujet ne connaît pas encore les limites à l'intérieur desquelles elle s'applique. En effet, il n'est pas nécessaire, pour abstraire une relation, que le sujet soit confronté à l'ensemble des situations représentatives de cette relation. La mise en relation des observables appropriés (1<sup>re</sup> étape) ne signifie donc pas que le sujet connaît d'emblée son champ d'application. C'est pourquoi l'utilisation de cette représentation peut donner lieu à des sous-généralisations ou au contraire à des surgénéralisations, sources de déséquilibres qui vont nécessiter un réajustement des actions, modifiant plus ou moins le schème.

La sous-généralisation consiste à donner au schème une trop faible extension, ce qui dénote la difficulté à abstraire la relation constitutive du schème de son contexte de formation. Le sujet conserve trop de détails de la situation spécifique qui lui a servi de support. En voici un premier exemple lié à la construction du schème unidimensionnel. Plusieurs étudiantes, après avoir découvert comment augmenter la vitesse de la balle sans changer son orientation, en donnant un coup dans la même orientation que le mouvement, persistent à croire qu'«il faut donner un grand coup» (de grandeur supérieure à celle de la vitesse initiale). Il y a alors identification des conditions distinctives essentielles (mise en relation de l'orientation du coup avec celle du mouvement initial), mais avec adjonction d'une condition restrictive non essentielle (idée qu'il faut donner un grand coup). Un second exemple, relié à la construction du schème de la moyenne, dénote un excès de différenciation à l'origine de la sous-généralisation. Certains sujets, après avoir constaté que «la balle va dans le milieu», dans une situation où l'écart entre l'orientation initiale et celle du mouvement est de 90 degrés, ne relient pas la moyenne à tous les cas où la grandeur du coup est égale à celle de la vitesse initiale, mais seulement à ces cas particuliers. Il y a, là aussi, ajout d'une condition restrictive non essentielle, à savoir que les deux orientations doivent être perpendiculaires.

La surgénéralisation consiste au contraire à donner au schème une trop grande extension, ce qui indique également une délimitation incorrecte de son champ d'application. La relation établie manque de spécificité si bien qu'elle conduit à négliger certains éléments d'information essentiels. Ceci engendre des déséquilibres plus ou moins grands selon l'ampleur de la surgénéralisation. Pour parvenir à les surmonter, les sujets devront découvrir les caractéristiques distinctives de situations initialement perçues comme semblables. Un premier exemple a trait à la généralisation aux situations bidimensionnelles des relations établies dans les situations unidimensionnelles, ce qui revient à ignorer leurs caractéristiques distinctives. Un second exemple, relié à la construction du schème de la moyenne, consiste à généraliser la relation de «moyenne» ou de «milieu de l'écart» à toutes les situations bidimensionnelles, sans tenir compte de l'égalité nécessaire de la grandeur du coup et de celle de la vitesse initiale (indifférenciation des cas d'égalité et d'inégalité). Pour rétablir l'équilibre, le sujet devra intégrer à son schème une condition restrictive essentielle, à savoir que «la balle va dans le milieu... si et seulement si la grandeur du coup est égale à celle de la vitesse initiale» (2<sup>e</sup> étape).

— La différenciation du schème à travers son application à de nouvelles situations

Ce processus permet d'identifier les conditions et/ou les modalités d'application du schème en fonction des situations. Il repose sur la prise en considération d'un nouvel observable antérieurement négligé qui devient source de perturbations. Il consiste à différencier le schème existant de manière à pouvoir y intégrer l'élément perturbateur. Cette intégration conduit à la délimitation progressive du champ

d'application du schème puisqu'elle permet d'identifier les conditions dans lesquelles la représentation nouvellement construite s'applique ou ne s'applique pas. C'est ce processus qui conduit à la définition du schème, non plus seulement en compréhension, mais également en extension, à l'intérieur du moins des limites du contexte d'exploration proposé. En effet, l'extension du schème pourrait se modifier encore au contact d'un autre environnement d'apprentissage présentant des caractéristiques nouvelles, par exemple, si l'on introduisait la masse de l'objet ou encore, la durée d'application de la force. Il faudrait alors intégrer d'autres informations et identifier de nouvelles conditions distinctives essentielles.

Ce processus apparaît clairement dans les situations unidimensionnelles lorsque les sujets différencient graduellement l'effet de la grandeur du coup sur les changements de vitesse et/ou d'orientation lorsque la direction de l'impulsion est opposée à celle du mouvement. Ce sont ces relations qui leur permettent, par exemple, d'inférer que la vitesse ne pourra jamais diminuer, dès lors que la grandeur du coup est supérieure au double de celle de la vitesse initiale (phase I, 2<sup>e</sup> étape). Ce processus intervient également dans la mise en relation progressive, au sein du schème de la moyenne, du rôle de la grandeur avec celui de l'écart. Il y a alors prise en considération de nouveaux observables, grandeur du coup et grandeur de la vitesse initiale, modifiant le schème dans la mesure où ils conduisent à différencier le schème en fonction de la variable «grandeur». C'est alors que la moyenne devient un «réfèrent stable» permettant de situer approximativement l'orientation finale, avant le milieu ou après le milieu, selon que la grandeur du coup est inférieure ou supérieure à celle de la vitesse initiale (phase II, 2<sup>e</sup> étape).

#### — L'élargissement progressif du schème

L'élargissement progressif du schème correspond au procédé heuristique par lequel un schème, une fois activé, en vient rapidement à se compléter. Il consiste à préciser progressivement une représentation intuitive adéquate mais encore globale, à travers une démarche d'expérimentation active permettant d'établir, de proche en proche, des relations de plus en plus précises. Cette démarche heuristique donne lieu à de simples ajustements successifs des actions à partir de leurs résultats. On en trouve un bel exemple dans la compréhension des changements de vitesse bidimensionnels, basée sur le raisonnement en termes d'écart. Ce dernier permet aux sujets d'envisager les changements de vitesse dans un continuum et conduit tout naturellement à l'hypothèse qu'il doit bien y avoir une orientation où «la vitesse reste pareille». L'hypothèse de départ est que cette limite se situe à 90 degrés du mouvement initial (la grandeur du coup étant égale à celle de la vitesse initiale). La non-confirmation des anticipations auxquelles elle donne lieu est source d'information puisqu'elle oriente le choix des actions ultérieures. Celles-ci se traduisent par une démarche d'expérimentation active consistant à essayer de découvrir, par approximations successives, à partir de quelle orientation la vitesse cesse d'augmenter pour commencer à diminuer.

Cette démarche heuristique s'avère jouer un rôle particulièrement important dans l'identification de la limite de 120 degrés qui permet de conserver au mouvement sa vitesse initiale, lorsque la grandeur du coup est égale à celle de la vitesse initiale (phase III, 2<sup>e</sup> étape). Elle engendre la construction d'un *invariant*, c'est-à-dire quelque chose qui se conserve au travers des transformations. Cet invariant va servir de support à la mise en relation ultérieure du rôle de la grandeur avec celui de l'écart, permettant de situer approximativement la limite (avant ou après  $O_i + 120$ ), selon que la grandeur de l'impulsion est inférieure ou supérieure à celle de la vitesse initiale (phase III, 3<sup>e</sup> étape).

#### — La coordination de schèmes entre eux

Ce processus consiste à relier entre eux des schèmes distincts en les intégrant à une représentation plus large. Il illustre clairement la modification du statut des observables. On peut en effet considérer comme des observables de niveau supérieur (Obs.  $n+1$ ) les coordinations effectuées à l'intérieur de chacun de ces schèmes. Par exemple, comprendre pourquoi «la balle s'arrête» relève d'une mise en relation d'observables au sein du schème unidimensionnel. De même, constater que «la balle va dans le milieu» (schème de la moyenne) ou encore que «la vitesse se conserve quand l'orientation du coup est à 120 degrés de l'orientation initiale» (schème de l'écart) résulte des coordinations d'observables effectuées au sein même du schème de la moyenne et du schème de l'écart. Or, une fois ces schèmes construits, ces coordinations peuvent acquérir le statut d'observables pouvant se coordonner à leur tour. Ce processus est facilité par le conflit entre deux représentations distinctes d'une même situation. On en trouve un exemple lors de la construction du schème de la moyenne, lorsqu'on suggère au sujet d'essayer de modifier l'orientation initiale de la balle de 90 degrés, avec un coup d'une grandeur égale à celle de la vitesse initiale (ce qui n'est pas possible). Dans cette situation particulière, le sujet a recours au schème de la moyenne pour produire certains résultats, c'est-à-dire déterminer quelle orientation donner au coup pour obtenir une orientation particulière [pour  $O_f = O_i + 90$ , donner  $O_c = O_i + (2 \times 90)$ ]. Cependant, il évoque le schème unidimensionnel pour interpréter les résultats observés ( $V_f = 0$  car  $G_c = V_i$  et  $O_c = O_i + 180$ ), lorsqu'il constate que ces derniers (vitesse nulle) contredisent les résultats anticipés ou recherchés (orientation finale à 90 degrés de l'orientation initiale). Cette mise en relation des deux schèmes permet d'identifier les «limites» à l'intérieur desquelles l'orientation initiale est modifiable, lorsque la grandeur du coup est égale à celle de la vitesse initiale (phase II, 3<sup>e</sup> étape).

Un autre exemple illustre cette fois la coordination du schème de l'écart avec le schème unidimensionnel. Les sujets savent qu'un coup donné en direction opposée à celle du mouvement conserve la grandeur de la vitesse initiale tout en modifiant son orientation initiale de 180 degrés, s'il est deux fois plus grand que celle-ci (schème unidimensionnel). Or, cette situation peut être mise en relation avec les situations



bidimensionnelles dans lesquelles «la balle conserve sa vitesse initiale tout en modifiant son orientation». En effet, dans les deux cas, le coup a pour effet de «conserver la grandeur de la vitesse mais non son orientation». Cette caractéristique commune est précisément ce qui va constituer le «point de contact» entre ces deux schèmes. La coordination se produit lorsque les sujets tentent de déterminer la valeur de la limite pour des impulsions de grandeurs supérieures à celle de la vitesse initiale. Elle est source de nouvelles inférences puisqu'elle permet de prédire qu'à partir du moment où la grandeur du coup est égale au double de la vitesse initiale, celle-ci ne pourra jamais diminuer, quelle que soit l'orientation du coup, puisque l'orientation permettant de conserver au mouvement sa vitesse initiale correspond à l'écart maximum entre deux orientations, soit 180 degrés. Cette mise en relation des deux schèmes aide également à situer approximativement la «limite» où la grandeur de la vitesse se conserve (soit entre 120 et 180 degrés par rapport à l'orientation initiale), dans les cas où la grandeur du coup est supérieure à celle de la vitesse initiale, mais inférieure au double de celle-ci (phase III, 3<sup>e</sup> étape). Elle induit même, chez certains sujets, l'hypothèse que l'on pourrait découvrir, en expérimentant différentes grandeurs de coup, un rapport précis entre la valeur de la limite et la valeur de l'écart entre la grandeur du coup et celle de la vitesse initiale.

Cela montre comment deux schèmes antérieurement dissociés, parce qu'ils s'appliquent à des situations différentes, se trouvent en quelque sorte relativisés l'un par l'autre. Ce processus de mise en relation d'observables de niveau supérieur joue un rôle très important dans la formalisation progressive des connaissances qui consiste à élaborer des observables de plus en plus abstraits, c'est-à-dire à passer des observables de niveau  $n$  aux coordinations de niveau  $n$ , puis de celles-ci aux observables de niveau  $n + 1$  puis aux coordinations de niveaux  $n + 1$ , et ainsi de suite. On peut en effet décrire la démarche des sujets sous l'angle d'une mise en relation des observables relatifs à l'action (impulsion d'une certaine grandeur et orientation) et des observables relatifs à l'objet (état initial et état final de la vitesse de la balle) puis d'une modification progressive du statut des observables qui sont alors fournis par les relations ou coordinations antérieurement effectuées. En d'autres termes, ce qui constitue, à une étape, le résultat d'une coordination apparaît, à une étape ultérieure, à titre d'observable pouvant donner lieu à son tour à de nouvelles coordinations.

Ces processus d'équilibration ne se succèdent pas au hasard mais présentent au contraire une certaine hiérarchie. En effet, on ne peut coordonner deux représentations (ou schèmes) sans les avoir d'abord différenciées. Or, on ne peut différencier un schème à travers ses applications variées que dans la mesure où il est construit. Enfin, on ne peut le construire sans mettre en relation certains éléments d'information (observables) dans une organisation (coordinations) permettant de prévoir ou d'interpréter certaines situations. La succession de ces processus permet de mieux comprendre comment les représentations préalables du sujet sont amenées à se transformer et à s'élaborer à travers leur utilisation au contact de situations variées. C'est par une démarche essentiellement interactive, dans laquelle interviennent des actions observables, des anticipations liées à ces actions et des résultats également

observables, que l'apprenant construit certaines représentations qualitatives appropriées de phénomènes physiques reliés aux lois du mouvement, et qu'il élabore les outils logicomathématiques (raisonnement vectoriel) nécessaires à cette construction. On constate que les modifications engendrées ne dépendent pas seulement des connaissances et/ou des stratégies évoquées, mais aussi des situations en fonction desquelles elles le sont. Ce qui permet au sujet d'intégrer à ses représentations initiales de nouvelles informations, c'est qu'une partie d'un problème ou d'une situation nouvelle peut être ramenée à du connu. Autrement dit, tout n'est pas entièrement nouveau, sans quoi la rééquilibration serait pratiquement impossible. Une partie non négligeable de l'apprentissage consiste donc à reconnaître quelles sont, parmi les connaissances dont on dispose (par exemple, l'addition algébrique, la proportionnalité, le contrôle des variables, etc.) celles sur lesquelles il convient de s'appuyer et celles qui doivent être modifiées. Si certaines composantes des représentations initiales du sujet (par exemple, l'établissement d'une relation directe entre grandeur de l'impulsion et grandeur de la vitesse finale) peuvent faire obstacle à l'apprentissage, d'autres au contraire sont très utiles. C'est pourquoi il importe de s'appuyer sur les représentations ou sur les schèmes déjà construits pour faciliter l'apprentissage. On peut concevoir l'apprentissage du concept de vecteur, dans le contexte de notre micromonde, comme le résultat de l'abstraction et de la mise en relation d'informations pertinentes à la compréhension des changements de grandeur et d'orientation de la vitesse, dans les différentes situations que le micromonde permet de générer. Dans un tel contexte, le sujet ne débute pas par un apprentissage formel de la notion de vecteur pour l'appliquer ensuite aux différentes situations auxquelles il est confronté. Il en fait d'abord l'expérience dans un environnement d'exploration où il est directement en contact avec les phénomènes que cette notion représente. L'accent est mis sur la connaissance pratique, source de compréhension conceptuelle, et sur la représentation qualitative des phénomènes, considérées comme préalables à leur quantification précise.

### *Conclusion*

Cette recherche illustre l'apport du modèle de l'équilibration dans l'analyse des processus de développement conceptuel de l'apprenant. Elle montre en particulier l'utilité conceptuelle et méthodologique des notions piagétienne d'observables et de coordinations dans l'analyse des connaissances qui peuvent être acquises par les sujets au contact d'un environnement d'apprentissage interactif. Cet environnement (micromonde) avait pour but d'amener l'apprenant à modifier ou à ajuster ses représentations initiales des aspects vectoriels du mouvement en le conduisant à établir des relations entre les actions effectuées (coups) et leurs résultats sur le mouvement (changement de grandeur et/ou de direction de la vitesse). Après avoir identifié les principales représentations qualitatives (schème unidimensionnel, schème de la moyenne et schème de l'écart) pouvant être construites par le sujet à travers ses interactions avec différentes catégories de situations (unidimensionnelles et bidimensionnelles), nous nous sommes appuyée sur le modèle de l'équilibration à deux

niveaux: d'abord, comme outil d'intervention pour guider la démarche des sujets en les confrontant à des situations susceptibles d'induire la construction des schèmes préalablement identifiés; ensuite, comme outil d'analyse pour rendre compte des processus d'abstraction simples (à partir de l'objet) et logicomathématique ou réfléchissante (à partir de l'action) permettant aux sujets d'intégrer graduellement des informations qui n'étaient pas assimilables au départ.

Pour conclure, nous nous penchons sur le rôle de l'intervenant dans la démarche d'exploration du micromonde et tentons de dégager quelques implications pédagogiques de notre analyse en ce qui a trait au rôle de l'enseignant dans le processus d'apprentissage de l'élève. Nous inspirant de la perspective épistémologique de Piaget, nous avons envisagé l'apprentissage sous l'angle d'un processus de développement conceptuel (équilibration) consistant à modifier les représentations ou schèmes initiaux, à travers leur utilisation, de façon à permettre d'y intégrer de nouveaux éléments d'information. Le «moteur» de cette construction réside dans les interactions qui se produisent entre les connaissances évoquées par les sujets et les situations en fonction desquelles elles le sont. C'est pourquoi nous avons insisté sur le rôle de l'environnement (micromonde) ou de la «situation problème» en tant que support à l'apprentissage. L'interaction des sujets avec des problèmes ou situations variées aux différentes phases d'exploration, nous a permis d'illustrer la façon dont les schèmes se construisent à partir des connaissances préalables de l'élève, se raffinent et s'articulent à travers leur utilisation. Cette construction prend la forme d'une rééquilibration liée à la nécessité de surmonter les déséquilibres que génère, dans les représentations initiales du sujet, leur confrontation avec différentes situations. Elle révèle une certaine continuité entre les représentations fragmentées et plus ou moins élaborées que les sujets font intervenir et les connaissances que l'on a pour but de leur faire acquérir. La construction des divers schèmes apparaît ainsi comme un processus de rectification progressive d'hypothèses, de stratégies, de modèles ou de représentations simplifiés ou même partiellement incorrects.

Ce processus consiste à passer d'un niveau de compréhension ou de conceptualisation à un autre en rectifiant, modifiant, différenciant et coordonnant les connaissances caractérisant les niveaux antérieurs. Un tel processus n'est pas linéaire, mais dialectique. En effet, une fois le schème construit, il devient modifiable du fait même de son utilisation. Il peut se différencier à travers ses applications variées, entrer en relation avec d'autres éléments de connaissance par rapport auxquels il était antérieurement dissocié. C'est ainsi que chacun des schèmes construits devient le point de départ des schèmes qui vont s'élaborer par la suite, mais ces constructions ultérieures modifient en retour les schèmes qui les ont rendues possibles en les intégrant à une structure plus large. L'apprentissage s'insère de ce fait dans une dynamique interactive, source de modifications continues. Celles-ci se reflètent dans la façon dont les sujets interagissent avec le micromonde aux différentes phases de l'exploration. Dans la mesure, en effet, où les connaissances évoluent à travers leur utilisation, elles transforment par le fait même la nature des interactions possibles avec le micromonde. C'est ainsi que ce qui n'était pas observable à un certain niveau, parce que le sujet

ne disposait pas de représentation appropriée (coordinations) pour interpréter certaines informations, le devient à une étape ultérieure (équilibration), rendant possibles de nouveaux déséquilibres.

Dans ce contexte, quel est le statut des interventions, c'est-à-dire dans quelle mesure peuvent-elles contribuer, elles aussi, à l'apprentissage? Dans la perspective de l'équilibration, l'interaction «sujet x objet» n'est génératrice d'apprentissage que dans la mesure où le sujet n'est pas confronté à des déséquilibres trop grands et qu'il dispose de suffisamment de connaissances pertinentes pour parvenir à se rééquilibrer. Autrement dit, il ne peut assimiler n'importe quoi à n'importe quel moment. C'est précisément à ce niveau que l'intervention trouve, selon nous, sa justification. Son rôle est d'alimenter et d'exploiter les processus d'équilibration en jeu dans l'apprentissage de manière à ce que les sujets soient confrontés à des déséquilibres appropriés à leur niveau de compétence et qu'ils puissent trouver des stratégies appropriées pour se rééquilibrer. On peut en effet supposer que le sujet qui reste trop longtemps en déséquilibre risque de démissionner parce qu'il perçoit la tâche comme «trop complexe» pour lui. Inversement, le sujet qui s'en tient aux situations qu'il maîtrise bien a peu de chances d'exploiter la richesse de l'environnement qui lui est proposé. Ces états de déséquilibre ou d'équilibre trop persistants évoquent alors un phénomène de «clôture» (Léonard, 1978), c'est-à-dire que le processus d'équilibration en cours dans une situation d'apprentissage ou de résolution de problème s'interrompt avant d'être parvenu à son terme.

Dans le processus d'équilibration de l'apprenant, le rôle de l'enseignant ou de l'intervenant ne se situe pas, selon nous, au niveau des constructions comme telles, puisque ces dernières appartiennent en propre au sujet, mais plutôt au niveau des interactions qui servent de support à ces constructions nouvelles. Puisque ce sont les situations variées auxquelles le sujet se trouve confronté qui servent de support à l'apprentissage, l'une des principales fonctions de l'intervention est précisément de favoriser la rencontre avec ces situations aux moments opportuns et de les exploiter en développant l'habileté des sujets à se centrer sur les caractéristiques pertinentes d'une situation et à établir entre elles des relations. L'analyse préalable de la tâche joue, à cet égard, un rôle important puisqu'elle permet de mettre en évidence les représentations et les types de raisonnement nécessaires à la compréhension de situations plus ou moins faciles à prévoir ou à interpréter et qu'elle aide à identifier *a priori* ce qui peut éventuellement faire obstacle à la compréhension, c'est-à-dire les données d'une situation ou d'un problème qui peuvent s'avérer perturbatrices pour le sujet. Ceci permet de faire travailler les sujets sur ces obstacles. Un aspect important de l'intervention, dans ce contexte, consiste à amener le sujet à diriger sa propre activité, c'est-à-dire à prendre conscience de ses propres difficultés et à essayer de trouver des solutions par lui-même. L'erreur, source de déséquilibre, constitue en effet le principal moteur du processus de rééquilibration. Elle amène le sujet à prendre conscience à la fois de ce qu'il sait et des limites de ses connaissances antérieures. C'est pourquoi le rôle de l'intervenant n'est pas tant d'éviter au sujet les erreurs que de l'amener à les comprendre et à les exploiter.

**Abstract** – In undertaking a study of the application of Piaget's model of equilibrium, this article presents an analysis of the process of conceptual development during a learning activity in physics. The proposed activity, based on an exploration of a microworld dealing with movement, has as its objective to help students develop qualitative representations (schemas) of specific phenomena in physics. This development is examined beginning with students' initial representations, and includes modifications which occur through contacts in a variety of situations. Application of this model to an analysis of conceptual change helped define certain general mechanisms which operate in the progression of one level of representation to another. This also allows the author to illustrate the operation of alternating interactive and constructive processes in the context of a specific learning activity.

**Resumen** – Este artículo presenta una aplicación del modelo de equilibrio de Piaget al análisis de un proceso de desarrollo conceptual ligado a una actividad de aprendizaje en Física. Esta actividad se basa en la exploración de un micro-mundo sobre el movimiento. Tiene por objeto llevar al individuo a formular representaciones cualitativas (esquemas) de ciertos fenómenos físicos a partir de sus propias representaciones iniciales y de las progresivas modificaciones debidas al contacto con diversas situaciones. La aplicación del modelo de equilibrio al análisis de este cambio conceptual pone en evidencia ciertos mecanismos generales que intervienen en el paso de un nivel de representación a otro. Se puede así ilustrar concretamente la forma que toma, en el contexto de una actividad específica, la alternancia de procesos interactivos y constructivos para lograr el equilibrio.

**Zusammenfassung** – Dieser Artikel legt eine Anwendung des Modells der "Herstellung des Gleichgewichts" nach Piaget vor, und zwar bei der Analyse eines Prozesses der Begriffsentwicklung, der mit einer Lernaktivität in Physik verbunden ist. Die vorgeschlagene Aktivität beruht auf der Erforschung einer Mikrowelt in Bewegung. Sie soll das Subjekt dazu bringen, qualitative Vorstellungen bestimmter physikalischer Phänomene auszuarbeiten, ausgehend von seinen Anfangsvorstellungen und deren fortschreitenden Veränderungen im Kontakt mit verschiedenartigen Situationen. Die Anwendung des Modells der Herstellung des Gleichgewichts auf die Analyse dieses Begriffswandels stellt bestimmte allgemeine Vorgänge heraus, die am Übergang von einem Vorstellungsniveau zum anderen beteiligt sind. Sie läßt die konkrete Darstellung der Form zu, welche die abwechselnden interaktiven und konstruktiven Vorgänge (welche bei der Herstellung des Gleichgewichts beteiligt sind) im Kontext einer spezifischen Lernaktivität annehmen.

## RÉFÉRENCES

- Abraham, M. R. et Renner, J. W. (1986). The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2), 121-143.
- Anderson R. C. (1977). The notion of schemata and the educational enterprise: General discussion of the conference. In R. C. Anderson, R. J. Spiro et W. E. Montague (éd.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (p. 415-431). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bachelard, G. (1960). *La formation de l'esprit scientifique* (4<sup>e</sup> éd.). Paris: Librairie philosophique J. Vrin.
- Bednarz, N. et Garnier, C. (1989). *Construction des savoirs: obstacles et conflits*. Montréal: Agence d'Arc.

- diSessa, A. (1982). Unlearning aristotelician physics: A study of knowledge based learning. *Cognitive Science*, 6, 37-75.
- diSessa, A. (1986). Artificial word and real experience. *Instructional Science*, 14(3-4), 207-229.
- diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman et B. F. Pufall (éd.), *Constructivism in the computer age* (p. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Droz, R. et Volken, H. (1991). L'équilibration piagétienne: portée heuristique et devenir d'un concept utopique. *Revue européenne des sciences sociales*, XXIX(89), 55-73.
- Driver, R. et Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science Review*, 67(240), 443-456.
- Driver, R. et Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R. (1992). Student's conceptual frameworks: Consequences for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. K. Britton (éd.), *The psychology of learning science* (p. 65-86). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Giordan, A., Henriques, A. et Bang, V. (1989). *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Paris: Peter Lang.
- Glaser, R. (1987). Learning theory and theories of knowledge. In E. De Corte, H. Lodewijks, R. Parmentier et P. Span (éd.), *Learning and instruction* (Vol. 1) (p. 397-341). Oxford, GB: Leuven University Press et Pergamon Press.
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 94, 383-396.
- Hewson, P. W. et Beckett Hewson, M. G. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Science Instruction*, 13, 1-15.
- Inhelder, B., Sinclair, H. et Bovet, M. (1979). *Apprentissage et structure de la connaissance*. Paris: Presses universitaires de France.
- Lawler, R. (1985). *Computer experience and cognitive development*. New York, NY: Ellis Horwood et John Wiley and Sons.
- Lawson, A. E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569-617.
- Legendre, M. F. (1978). *Valeur explicative et heuristique du modèle de l'équilibration dans l'analyse psychogénétique du développement de l'intelligence*. Thèse de maîtrise non publiée, Université Laval.
- Léonard, F. (1978). Obstacles cognitifs dans les processus de résolution de problèmes. *Archives de psychologie*, 178, 115-131.
- Noelting, G. (1982). *Le développement cognitif et le mécanisme de l'équilibration*. Chicoutimi: Gaëtan Morin.
- Noelting, G. et Cloutier, R. (1970). *Le développement de la notion de proportion chez l'enfant et chez l'adolescent*. Québec: Laboratoire de psychologie du développement, Université Laval.
- Nussbaum, J. et Novick, S. (1982). Alternative frameworks. Conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 138-200.
- Papert, S. (1981). *Jaillissement de l'esprit*. Paris: Flammarion.
- Piaget, J. (1967a). *Biologie et connaissance*. Paris: Gallimard.
- Piaget, J. (dir.) (1967b). L'épistémologie et ses variétés. In *Logique et connaissance scientifique, Encyclopédie de la Pléiade*, XXII (p. 3-135). Paris: Gallimard.
- Piaget, J. (1974). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence: sélection organique et phénocopie*. Paris: Hermann.

- Piaget, J. (1975). L'équilibration des structures cognitives: problème central du développement. *Études d'épistémologie génétique, XXXIII*. Paris: Presses universitaires de France.
- Piaget, J. et Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris: Flammarion.
- Piaget, J., Garcia, R. et Vonèche, J. (1976). *Épistémologie génétique et équilibration – Hommage à Jean Piaget*. Neuchâtel/Paris: Delachaux et Niestlé.
- Pines, A. L. et West, L. H.T. (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. New York, NY: Academic Press.
- Renner, J. W., Abraham, M. R. et Birnie, H. H. (1986). The occurrence of assimilation and accommodation in learning high school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 619-634.
- Renner, J. W., Abraham, M. R. et Birnie, H. H. (1988). The necessity of each phase of the learning cycle in teaching high school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 39-58.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce et W. F. Brewer (éd.), *Theoretical issues in reading comprehension* (p. 33-59). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rumelhart, D. E. et Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro et W. E. Montague (éd.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (p. 99-136). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Vergnaud, G. (1989). Difficultés conceptuelles, erreurs didactiques et vrais obstacles épistémologiques dans l'apprentissage des mathématiques. In N. Bednarz et C. Garnier (éd.), *Constructions des savoirs: obstacles et conflits* (p. 33-41). Montréal: Agence d'Arc.
- Weil-Barais, A. (1994). Que faire des représentations des élèves? À propos de l'apprentissage de la physique. *Éducation permanente: représentations et apprentissage chez les adultes*, 119(2), 79-89.